

# Inhalt

<b>Zusammenstellung der wichtigsten Symbole</b>	<b>11</b>
<b>Einleitung</b>	<b>15</b>
<b>1 Kinematik fluidier Kontinua</b>	<b>20</b>
1.1 Einige Grundbegriffe	20
1.2 Materielle Zeitableitung	28
1.3 Deformationsgeschwindigkeiten	32
1.3.1 Dreh- und Verzerrungsgeschwindigkeiten	32
1.3.2 Volumendehngeschwindigkeit	38
1.3.3 Überlagerung von Dehnung und Drehung	40
1.3.4 Kinematische Wirbelsätze	42
1.3.5 Oldroydsche und Jaumannsche Zeitableitungen	45
1.4 Verzerrungstensoren	46
1.4.1 Deformationsgradient	46
1.4.2 Cauchy-Green-Tensor	48
1.4.3 Zusammenhang mit dem Geschwindigkeitsfeld	50
1.4.4 Relative Deformation und relative Verzerrung	51
1.4.5 Rivlin-Ericksen-Tensoren	54
1.5 Inkompressible Strömungen mit eingeschränkter Kinematik	55
1.5.1 Schichtenströmungen	55
1.5.2 Homogene Dehnströmungen	62
1.5.3 Mehrdimensionale Strömungen über 2d Grundgebieten	64
1.5.4 Relative Deformation in Zirkulationsgebieten	70
1.6 Konvektives Mischen	74
1.6.1 Partikelbewegung als dynamisches System	74
1.6.2 Poincaré-Schnitt	81
Aufgaben	85
<b>2 Kontinuumsmechanische Grundlagen</b>	<b>87</b>
2.1 Spannung und Volumenkraft	87
2.1.1 Druck und Extraspannungen	92
2.2 Integrale Bilanzgleichungen	94
2.2.1 Materielle Formulierung	94
2.2.2 Formulierung für offene Kontrollvolumina	97

2.3	Differentielle Form der Bilanzgleichungen	100
2.3.1	Kontinuitätsgleichung	101
2.3.2	Bewegungsgleichungen	103
2.3.3	Energiegleichung für Fluide	104
2.3.4	Wirbeltransportgleichung	107
2.3.5	Rand- und Anfangsbedingungen	110
2.3.6	Beschleunigte Bezugssysteme	111
	<b>Aufgaben</b>	<b>114</b>
<b>3</b>	<b>Bei Scherung und Dehnung hervortretende Stoffeigenschaften</b>	<b>118</b>
3.1	Rheologisch einfache Flüssigkeiten	118
3.2	Die Fließfunktion	123
3.2.1	Empirische Fließgesetze	130
3.2.2	Rotationsrheometer	132
3.2.3	Fließpotentiale	133
3.3	Die Normalspannungsfunktionen	134
3.4	Dehnviskositäten	139
3.5	Linear-viskoelastische Stofffunktionen	142
3.5.1	Die Relaxationsfunktion	142
3.5.2	Einfache Modelle	145
3.5.3	Sprunghafte Änderung der Schergeschwindigkeit	147
3.5.4	Oszillierende Beanspruchung	148
3.6	Nichtlineare rheologische Stoffmodelle	153
3.6.1	Rein viskose Flüssigkeiten	154
3.6.2	Integrale Modelle	156
3.6.3	Differentielle Modelle	161
3.7	Deborah- und Weissenberg-Zahl	164
	<b>Aufgaben</b>	<b>165</b>
<b>4</b>	<b>Strömungen, die durch die Fließfunktion kontrolliert werden</b>	<b>167</b>
4.1	Rohrströmung	167
4.1.1	Erwärmung durch Dissipation	172
4.2	Ebene Druck-Schleppströmung	174
4.2.1	Theoretische Grundlagen	174
4.2.2	Durchflußkennlinien und Wirkungsgrade	178
4.2.3	Schmierfilme veränderlicher Spaltweite	181
4.2.4	Orthogonale Druck- und Schleppanteile	187

4.3	Schraubenströmung	190
4.4	Radial durchströmter Spalt	191
	Aufgaben	196
<b>5</b>	<b>Auswirkungen der Normalspannungsdifferenzen</b>	<b>199</b>
5.1	Kegel-Platte-Strömung	199
5.2	Der Weissenberg-Effekt	203
5.3	Strangaufweitung	207
5.4	Normalspannungseffekte an suspendierten Partikeln	210
5.5	Sekundärströmungen	212
5.5.1	Stoffapproximation für langsame und langsam veränderliche Deformationsprozesse	212
5.5.2	Abriß einer Theorie zweiter Ordnung	217
5.5.3	Anwendung auf ebene Strömungen	220
5.5.4	Anwendung auf rotationssymmetrische Strömungen	222
5.5.5	Verlust von Symmetrien	229
5.6	Stationäre Durchströmung zylindrischer Rohre	233
5.6.1	Axiale Schichtenströmung	233
5.6.2	Die Sekundärströmung	235
	Aufgaben	241
<b>6</b>	<b>Gedächtniseinflüsse bei instationären Strömungen</b>	<b>244</b>
6.1	Lineare Viskoelastizität	244
6.1.1	Abstimmung eines Schwingungsdämpfers	245
6.1.2	Die Strömung in der Nähe einer schwingenden Wand	249
6.1.3	Ausbreitung von Unstetigkeiten	252
6.1.4	Das viskos-viskoelastische Korrespondenzprinzip	258
6.2	Nichtlineare Effekte	264
6.2.1	Beschleunigung von Transportprozessen	264
6.2.2	Erzwungene Schwingungen	269
6.2.3	Atmende Blase	272
6.2.4	Transsonische Merkmale	276
6.3	Bemerkungen zur Stabilitätstheorie	281
6.3.1	Hadamard-Instabilitäten	282
6.3.2	Stabilität ebener Schichtenströmungen	284
	Aufgaben	287

10	Inhalt	
<b>7</b>	<b>Numerische Strömungssimulation</b>	<b>290</b>
7.1	Grundsätzliche Betrachtungen	290
7.2	Das Konzept der Methode der finiten Elemente	293
7.2.1	Schwache Form des Randwertproblems	293
7.2.2	Räumliche Diskretisierung	296
7.2.3	Das algebraische Problem	300
7.2.4	Verknüpfung mit integralen Stoffmodellen	303
7.2.5	Datenaufbereitung und Visualisierung	307
7.3	Einige Berechnungsergebnisse	312
7.3.1	Schneckenextruder	312
7.3.2	Statischer Mischer	316
7.3.3	Periodische Wirbelablösung	319
7.4	Extremalprinzipie für verallgemeinerte newtonsche Fluide	321
7.4.1	Theoretische Grundlagen	321
7.4.2	Schranken für den Druckverlust durchströmter Rohre	324
7.4.3	Schranken für den Widerstand einer umströmten Kugel	328
	<b>Aufgaben</b>	<b>331</b>
<b>Anhang A:</b>	<b>Koordinatenunabhängige Definitionen der Begriffe Divergenz, Gradient und Rotation</b>	<b>333</b>
<b>Anhang B:</b>	<b>Formelsammlung für spezielle Koordinatensysteme</b>	<b>335</b>
	<b>Quellenangaben</b>	<b>344</b>
	<b>Ergänzende und weiterführende Literatur</b>	<b>346</b>
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>348</b>